



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2019/2020

Nº de proyecto: 216

Título del proyecto: Métodos Matemáticos de la Física y la Música

Nombre del responsable del proyecto:
Ángel Rivas Vargas

Centro: Facultad de Ciencias Físicas

Departamento: Física Teórica

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

Los objetivos detallados en la propuesta del proyecto se enumeraban como:

- 1.- Comprender de manera sencilla conceptos básicos de armonía musical.
- 2.- Entender la deducción de las ecuaciones que rigen el funcionamiento de los instrumentos musicales.
- 3.- Mejorar la comprensión de conceptos matemáticos alrededor de las ecuaciones en derivadas parciales, los espacios de Hilbert y las series de Fourier.
- 4.- Incentivar al alumno para el estudio de las matemáticas que se imparten en el Grado en Física.
- 5.- Fomentar la participación e intervención activa de los estudiantes en el diseño de su propia experiencia educativa.
- 6.- Incrementar la integración de estudiantes en procesos organizativos y entornos colaborativos.
- 7.- Fomentar la interacción entre física teórica y experimental.
- 8.- Potenciar el interés por la música y las disciplinas humanísticas en las carreras de ciencias.
- 9.- Fomentar la comunicación entre los diversos colectivos de la universidad.
- 10.- Incentivar el desarrollo del software libre entre la comunidad universitaria.
- 11.- Introducir a los alumnos en la actividad divulgativa.

2. Objetivos alcanzados

La consecución de los objetivos planeados en la propuesta del proyecto ha venido muy condicionada por las medidas restrictivas en la docencia presencial impuestas con motivo de la pandemia SARS-CoV-2 que ha azotado el país desde finales de febrero de 2020. Esta coyuntura ha obligado a adaptar tanto la metodología como el desarrollo de las actividades previstas, de la manera que se especifica en apartados posteriores.

Con relación con los objetivos propuestos, aún con la situación sobrevenida, han podido desarrollarse en mayor o menor medida la mayoría de ellos. Aquellos que se han visto más mermados son los que implicaban participación activa del alumnado y comunicación directa entre estudiantes y responsables del proyecto. El proyecto pretendía ser desarrollado principalmente en las asignaturas de Mecánica Teórica y Métodos Matemáticos II del Grado en Física. En la parte que atañe esta última asignatura, objetivos como, por ejemplo, 5, 6, y 10 se han visto comprometidos. Con

todo, los estudiantes han podido aprender nociones muy básicas de armonía musical y su relación con las matemáticas y la física que se estudia en el curso (objetivos 1, 2 y 3). Tal y como se detalla en apartados posteriores, el uso de medios audiovisuales a través del Campus Virtual ha suplido en parte la imposibilidad de la interacción directa con el profesor. La respuesta del alumnado en este sentido ha sido excelente, con constante intercambio de emails y entre el profesor y estudiantes clarificando dudas, e incluso explorando cuestiones suscitadas a raíz de la visualización del contenido online que rebasaban el alcance que puede darse a la materia dentro un curso de iniciación. Ello incita a pensar que objetivos como 4, 8, 9 y 11 pudieron alcanzarse en buena medida aún en medio de la dificultad de la situación.

Por otra parte, en el trabajo llevado a cabo en la asignatura de Mécanica Teórica, que por desarrollarse durante el primer cuatrimestre no se vio afectada por la declaración del estado de alarma, los estudiantes tuvieron la posibilidad de participar e intervenir activamente en el desarrollo de la docencia (objetivos 5 y 6). Presentaron proyectos y simulaciones al resto de la clase que fueron valorados por el profesor e influyeron positivamente en la calificación de la materia de una manera complementaria al examen final, tal y como recogía la guía docente. En estas tareas los estudiantes tuvieron, por ejemplo, que resolver ecuaciones que rigen la dinámica de instrumentos musicales (objetivo 3) y entender los resultados dentro de un contexto más allá que el puramente físico-matemáticos (objetivos 7, 8 y 11).

Aunque estaba previsto la realización de una encuesta online sobre el grado de consecución de estos objetivos, no nos ha parecido oportuno realizarla finalmente. Primeramente, porque resultaba a todas luces inapropiado comprometer al estudiantado a dar una respuesta sobre estas cuestiones habida cuenta de que se han podido realizar de una manera parcial que no estaba en forma alguna prevista en la propuesta. Y en segundo lugar porque el alumnado nos ha venido transmitiendo la carga de trabajo online de distintas asignaturas, y tratándose esta de una actividad opcional, no hemos querido cargarles con más trabajo.

Sin embargo, nos gustaría destacar que la actividad en Docencia puede dar una idea del grado de satisfacción del alumnado con estos métodos de innovación empleados en ambas asignaturas. El plan anual de encuestas del profesor Ángel Rivas Vargas arroja una nota media para la asignatura de Métodos Matemáticos II de 9.34.

3. Metodología empleada en el proyecto

Según se especificaba en la propuesta del proyecto, las actividades dentro de la asignatura de Métodos Matemáticos II contemplaban realizar un seminario en un día de día de clase (1,5 – 2 horas) para explicar los conceptos básicos de armonía musical y ponerlos en relación con la física y las matemáticas explicadas en clase. El profesor responsable de la asignatura y coordinador del proyecto, Ángel Rivas Vargas, pasaría a ilustrar entonces los conceptos en clase con ayuda de un sonómetro de Savart o monocordio para el que se concedió financiación, y con el que los alumnos pueden experimentar “escuchando” la validez de la resolución de la ecuación de ondas en una dimensión vista en clase.

Como se ha comentado, al ser la asignatura de Métodos Matemáticos II del segundo cuatrimestre, no hubo posibilidad de realizar de manera presencial estas actividades. A fin de suplirlas de manera online, el profesor grabó una clase con la aplicación “Educreations”, consistente en una pizarra digital con efectos, en una tableta de su propiedad. A continuación, se subió el contenido en formato video al Campus

Virtual de la asignatura de forma que los estudiantes pudieran visualizarlo. Como complemento, se propuso a los estudiantes la visualización de contenido audiovisual disponible en la red sobre las relaciones entre física, música y matemáticas.

En la propuesta también se solicitó financiación para un micrófono y un libro, pero a la vista de que no se concedió, se han tenido que adaptar la metodología de las actividades relacionadas. Se preveía el uso un ordenador portátil (perteneciente al Departamento de Física Teórica) provisto con el software de licencia libre “Audacity” junto al micrófono solicitado, para presentar un análisis espectral de la señal del monocordio, junto con otros instrumentos sencillos. Sin embargo, la no adquisición del micrófono, junto con las complicaciones derivadas de la situación sanitaria, hicieron imposible llevar a cabo esta propuesta. En parte, se suplió con contenido ya presente en la red, como se ha indicado.

Por otra parte, la metodología prevista para la participación activa del alumnado, como era la propuesta a los estudiantes de la realización de un pequeño proyecto consistente en temas tales como: el análisis espectral con “Audacity” de un instrumento que tuvieran a su disposición, la resolución de la ecuación de ondas para instrumentos de viento o percusión (sencillos), o la explicación de las tonalidades en música, también se ha visto modificada. En la asignatura de Métodos Matemáticos II, la adaptación a la docencia online, llevó consigo una suspensión del examen final de junio, y la evaluación del alumnado únicamente mediante evaluación continua. Al no poder imponer los contenidos del proyecto de innovación docente como materia examinable, sino solamente complementaria, se decidió que los estudiantes realizaran ejercicios evaluables únicamente con el contenido usual de la asignatura. Sin embargo, se propusieron en la hoja de ejercicios no evaluables, diversos problemas que implicaban resolver ecuaciones de ondas en coordenadas cartesianas, cilíndricas y esféricas, en modelos sencillos de instrumentos musicales, en concreto para una guitarra, una flauta travesera, un clarinete y un resonador esférico. En las soluciones proporcionadas por el profesor se indicó las propiedades armónicas de las soluciones.

En la asignatura de **Mecánica Teórica** se comenzó por asignar un proyecto relacionado con la música de manera voluntaria. Finalmente, fueron 10 los estudiantes que decidieron dicha actividad de un total de 76 estudiantes matriculados tanto en el Grado en Física como en el Doble Grado en Física y Matemáticas. Los proyectos realizados llevaron por título:

- De la armonía a la inarmonía
- El tambor y las funciones de Bessel
- El sonido y las ondas armónicas
- La acústica de los instrumentos musicales de cuerda y viento
- La física de los instrumentos
- La estructura del campo acústico
- La mecánica de los instrumentos musicales
- Sonido musical y ruido
- Estudio de una cuerda

Y aunque la mayoría fueron realizados de forma individual, también hubo uno realizado en pareja.

La elección y diseño de dichos proyectos fue abierta y tutorizada por el profesor de la asignatura José Alberto Ruiz Cembranos. Al concluir el semestre, los estudiantes involucrados presentaron un resumen de sus resultados ante sus compañeros.

4. Recursos humanos

Tal y como se detalló en la propuesta de este proyecto, en la actividad se contemplaba la colaboración de un grupo humano entre los que se encuentran profesores, personal de administración y servicios y estudiantes. Pensamos que era importante que el personal PDI estuviera integrado por profesores con experiencia en materia de música y divulgación, así como en otros proyectos de innovación docente. En primer lugar, el profesor José Alberto Ruiz Cembranos, responsable de la clase de Mecánica Teórica, licenciado en Comunicación Audiovisual por la UCM, quien ha sido coordinador de dos proyectos de innovación docente en el pasado: “Software libre como herramienta de aprendizaje en mecánica” (2017/18) y “Formación en software libre mediante proyectos de mecánica” (2018/19) y participado en experiencias similares a las de innovación docente como PDI externo. Más concretamente en la Universidad de Colima, México (amparado por la financiación de las becas para profesores por convenio) y en la Universidad de Lisboa, Portugal (financiado por el programa Erasmus para la movilidad de profesores universitarios). Por otra parte, el profesor coordinador del proyecto, Ángel Rivas Vargas, responsable de la clase de Métodos Matemáticos II y del Laboratorio de Física, con varios años en formación musical, en particular en canto, en escuelas de música en España y Alemania.

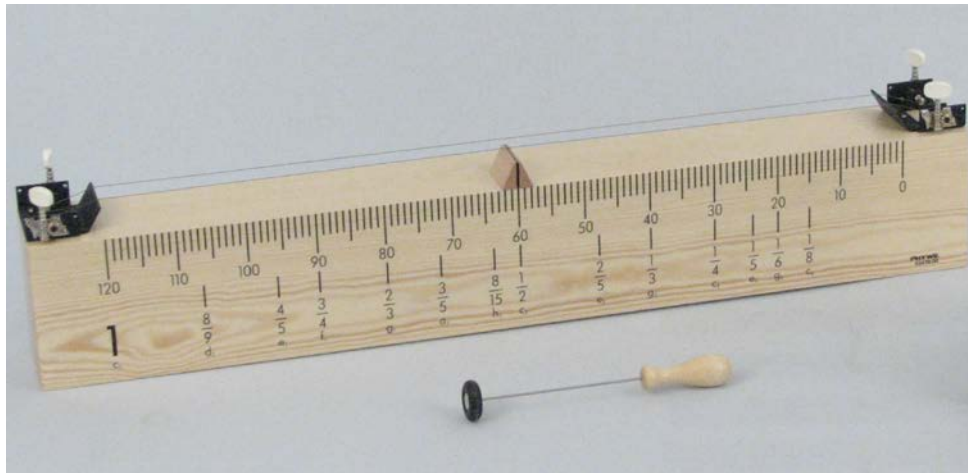
Además, el estudiante de doctorado Daniel Gutiérrez Reyes (contratado predoctoral UCM), con formación musical en guitarra, guitarra eléctrica y batería, impartió 20 horas por “venia docendi” en el Laboratorio de Física junto con el coordinador del proyecto.

Por último, el equipo de trabajo se completa con el ingeniero técnico del Laboratorio de Física Computacional, David Fernández Sanz, quién había participado en dos proyectos de innovación docente anteriores: “Software libre como herramienta de aprendizaje en mecánica” (2017/18) y “Formación en software libre mediante proyectos de mecánica” (2018/19). Su colaboración en la puesta a punto del equipo informático requerido para la docencia online, junto con actividades de impresión 3D ha sido de gran ayuda.

5. Desarrollo de las actividades

Las actividades desarrolladas en este proyecto han estado principalmente enfocadas a alumnos del Grado en Física y Doble-Grado en Física y Matemáticas, a través de las asignaturas de Métodos Matemáticos II (segundo curso) y Mecánica Teórica (cuarto curso). Aunque pueden adaptarse a otras asignaturas de ciencias, tanto teóricas como de laboratorio correspondiente revisión y adecuación de contenidos.

El material sufragado por la dotación económica del proyecto consistió en un monocordio (o sonómetro de Savart), representado en la siguiente figura:



Paralelamente, y con ayuda del técnico del laboratorio de Física Computación, David Fernández Sanz, se inició un proyecto de impresión flautas y flautines con la impresora 3D del Departamento de Física Teórica, llegando a completar la impresión de una flauta, tipo “folk irlandesa”, y a hacerla sonar. La demostración prevista en clase de Métodos Matemáticos II de estos instrumentos no se pudo llevar a cabo debido a la suspensión de las clases presenciales y se suplió con material online a través del Campus Virtual, como ya se ha indicado.

Esta situación, junto con la falta de presupuesto para el micrófono solicitado, impidió llevar a cabo un análisis espectral del material acústico con el programa de software libre “Audacity” en el Laboratorio de Física General, así como la posterior presentación a los estudiantes y el diseño previsto de una posible práctica de laboratorio para estudiantes de otras asignaturas.

En el desarrollo de las actividades en la asignatura de Métodos Matemáticos II, se propuso el libro “D. Benson, “Music: A Mathematical Offering” (CUP, Cambridge, 2008)” como referencia de consulta. Puesto que no se concedió financiación para adquirirlo, se propuso la compra de una ejemplar a la Comisión de Biblioteca de la Facultad de Ciencias Físicas indicando su utilidad sobre la docencia de esta asignatura, en particular en relación al presente proyecto de innovación docente. Finalmente, la citada comisión aprobó la compra de un ejemplar. Además, al no tener acceso a la biblioteca física durante el confinamiento, se propuso a los estudiantes que emplearan el libro en versión preprint, con la autorización de la editorial y el autor.

En la asignatura de Mecánica Teórica se desarrollaron las actividades conforme al guion previsto. Una vez identificados los estudiantes que realizarían un trabajo asociado a este proyecto de innovación, comenzaron sus diseños particulares. Las distintas consultas y tutorías desembocaron en los proyectos que se enumeraron en la sección 3 (Metodología empleada en el proyecto). En ellos típicamente hubo una aproximación teórica y un planteamiento analítico y/o numérico de ecuaciones diferenciales propias de la teoría cuántica de campos. Para ello, en la asignatura se fomentó el uso de herramientas de software libre y código abierto. Estas herramientas presentan ventajas con respecto a la utilización de software propietario, como el que constituye programas del tipo Matlab, Maple o Mathematica.

En particular, toda la asignatura (y no exclusivamente los proyectos) se focalizaron en el lenguaje de programación Python, que en los últimos años se está estandarizando no solo dentro de ambientes técnicos y científicos sino también en prácticas más asociadas a la actividad empresarial. Los módulos utilizados fueron principalmente: scipy y numpy, que fundamentalmente han sido utilizados como

herramienta numérica; matplotlib, que es una herramienta de representación gráfica de datos y dibujo en general; sympy, que permite abordar problemas asociados al cálculo simbólico; los notebook de Jupyter, en donde pueden combinarse los módulos anteriores a través de una estética similar a programas de pago por licencia como Mathematica; y finalmente también utilizamos el programa de software libre Cadabra, un sistema de álgebra computacional de cálculo simbólico adaptado a teorías de campos.

Por otra parte, conviene destacar que para el desarrollo de las actividades anteriormente descritas, hubo una participación de distintos colectivos de la Facultad de Ciencias Físicas de la UCM:

- Personal Docente e Investigador (PDI).
- Personal de Administración y Servicios (PAS).
- Estudiantes de Doctorado.
- Estudiantes de Grado matriculados en las asignaturas de Mecánica Teórica y Métodos Matemáticos II.